

後期音の到来方向が「音に包まれた感じ」に与える影響*

比嘉規晶(九州大学) 崔瑛芝(同) 古屋浩(九州共立大学) 藤本一寿(九州大学)

1. はじめに

コンサートホールの音場を評価する重要な心理的要因の一つとして“拡がり感”(Spatial Impression)がある。Marshall¹⁾がコンサートホールにおける初期側方反射音の重要性を指摘して以来、Jordan²⁾や Barron³⁾らによる側方反射音エネルギー率に着目した指標の提案をはじめとし、横方向から到来する反射音と“拡がり感”の関連について多くの研究がなされてきた。また、“拡がり感”には見かけの音源の幅(Apparent source width: ASW)と音に包まれた感じ(Listener envelopment: LEV)の二つの性質があることが森本ら⁴⁾によって明らかにされており、従来から明確な定義のないまま用いられてきた評価語自体の曖昧さについても近年整理されつつある。

このような状況の中、音に包まれた感じに関しては、Bradleyら⁵⁾が従来の側方エネルギー比を表す指標に代えて絶対音圧レベルと空間情報の両方を表現できるとしてLG(後期側方反射音レベル)を提案している。

一方、横方向以外の方向から到来する反射音については、“拡がり感”に寄与しないとの見方から、これまでほとんど研究がなされてこなかった。筆者ら⁶⁾はこれまで、音に包まれた感じを音像の空間的な拡がりとして捉えるならば、鉛直方向を含めた3次元的な反射音の到来が音に包まれた感じの知覚にとって重要な要因になるのではないかと考え、主に上方からの初期反射音の影響について検討してきた。また、側方反射音以外の空間情報を取り込んだ指標としては、森本ら⁷⁾による前後エネルギー比や最近の羽入ら⁸⁾の研究による SBT_s などが報告されている。

しかしながら、これらLG等の物理指標はいずれも、反射音を水平面内からだけ付加した、いわば平面的な音場を用いて導出されたものである。すなわち、上方から到来する反射音を含め反射音が3次元的に到来する音場の聴覚的効果はこれまで全く明らかにされておらず、したがって上記の指標の適用範囲についても不明確な部分が残っている。音の「空間的印象」を捉えるには、水平面内だけではなく、鉛直方向の反射音の付

加された音場を用いた検討が必要であると考えられる。

本研究の目的は、後期音の到来方向と音に包まれた感じの関係を明らかにすることにある。本稿では、2つの心理実験の結果について報告する。まずLGを一定にした音場を用いてLEVが後期側方反射音レベルだけに依存するのかどうかについて検討する(実験I)。次に、側方、上方、前方、後方の4つの方向から到来する後期音のレベル変化がLEVへ与える影響について、各方向ごとに検討する(実験II)。

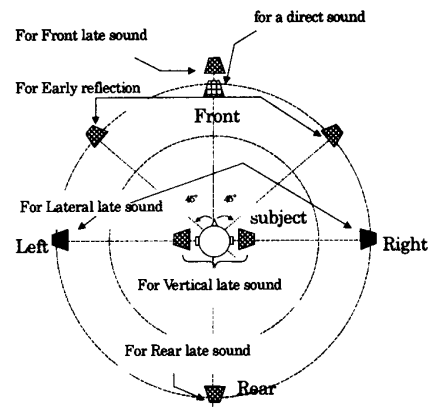


Fig.1 Arrangement of loudspeakers in Exp.

2. 実験方法

実験は、無響室内において、半径1.5mの半球面上に配置されたスピーカ群から刺激対を提示し、頭を固定して座らせた被験者に一対比較により音に包まれた感じについて評価を求めるといものである。スピーカの配置をFig.1に示す。スピーカシステムは、直接音用スピーカ、2個の初期音用スピーカ、並びに6個の後期音用スピーカ(側方2個、前方1個、後方1個(以上、水平面内)、上方2個)で構成されている。

音源信号は、無響室録音された「アルルの女」(Bizet作曲)の約10秒間である。全刺激対をMIDI制御されたシステムによりランダムに呈示し、後の刺激が前の刺激に比べて音に包まれた感じが小さく感じるか大きく感じるかを回答させた。被験者は、建築音響の研究を行っている学

*The influence of the direction of late arriving sounds on listener envelopment

By N.Higa, Y.Choi, H.Furuya and K.Fujimoto

生 6~8 名であり、被験者数は実験 I と II で異なる。実験に先立ち、被験者には教示文及び概念図を用いて評価語の説明を行うとともに、数個の刺激音場による練習を行った。

3. 実験 I

LEV が後期側方反射音レベル LG_{80}^{∞} だけに依存するかどうかについて、基礎的な実験を行った。

3.1 実験条件

刺激音場の構成の一例を Fig.2 に示す。刺激は、被験者正面からの直接音、6 本の初期反射音 (0-80ms, $LE=0.16$) 並びに後期音 (80- ∞ ms) から成り、直接音と初期音は全刺激で一定である。

刺激の数は、後期音の到来方向(側方, 前方, 上方, 後方)の組み合わせによって 7 種類を設定した。すなわち、 LG_{80}^{∞} が一定の条件下で、刺激 No.1(側方だけ)、No.2(側方+前方)、No.3(側方+前方+上方)、No.4(側方+上方)、No.5(側方+上方+後方)、No.6(側方+後方)の 6 刺激を作成し、これにさらに側方レベルを 3dB 上げた刺激 No.7(側方だけ)を加えた。7 個の刺激を Table 1 に示す。刺激 No.1~6 は LG_{80}^{∞} が一定 (± 0.4 dB)、刺激 No.2~7 は Strength G が一定 (± 0.5 dB) である。ここで、 LG_{80}^{∞} と同様に側方以外の方向成分エネルギーを把握するために、後期前方反射音レベル FG_{80}^{∞} 、後期上方反射音レベル VG_{80}^{∞} 、後期後方反射音レベル RG_{80}^{∞} を各々定義した。測定は LG_{80}^{∞} に倣い、双指向性マイクロフォンの指向軸を各々の方向に向けて得られるインパルス応答からエネルギー積分値を算出した。

刺激の呈示レベルは、刺激 No.2~7 において 61.9~62.9dBA でほぼ一定である(刺激 No.1 は 60.5dBA)。また、残響時間は 1.8s、初期/後期エネルギー比 C_{80} についても刺激 No.1(6.0dB)を除き $-0.4 \sim -0.1$ dB で一定である。

以上のようにして得られた 7 個の音場について、すべての組み合わせ 21 対を刺激対として呈示した。一回の実験時間が長くなり過ぎないように配慮し 2 回に分けて行った。被験者は 6 名であり、同一刺激対を 8 回ずつ判断してもらった。

3.2 結果と考察

得られた回答から Thurstone Case V に基づき心理的距離尺度を構成した。モデルの適合度の検定を行った結果、有意水準 1% で事実と適合していた。距離尺度を算出する前に、被験者

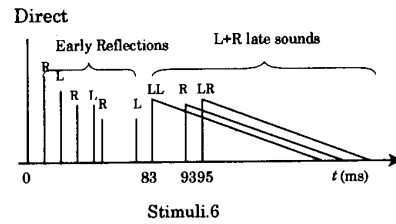


Fig.2 Signal configuration as stimuli.

Table 1 Acoustical conditions in Exp. I

No.	G_0^{∞} (dB)	LG_{80}^{∞} (dB)	FG_{80}^{∞} (dB)	RG_{80}^{∞} (dB)	VG_{80}^{∞} (dB)
1	4.6	-1.1	-13.3	-13.3	-15.7
2	7.4	-1.4	3.5	-12.2	-9.7
3	7.2	-0.9	0.7	-12.2	-0.6
4	7.5	-1.2	-12.1	-12.1	1.8
5	6.8	-1.7	-12.2	1.0	-0.9
6	7.3	-1.2	-12.2	3.1	-12.5
7	7.8	4.4	-11.1	-11.1	-12.6

* BL(dBA): Calculated from binaural SPL measured by using dummy head microphone.

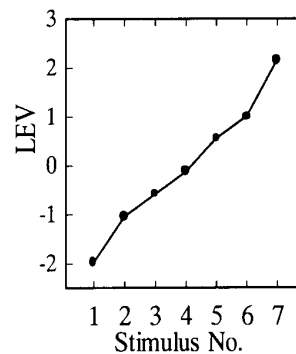


Fig.3 Psychological scale of LEV in experiment I

ごとに判別能力があるかどうか一意性の検定を行った。その結果、有意水準 5% ですべてのデータ ($6 \times 8 = 48$ 名分) について判別能力があるとみなせた。また、被験者間における判断の一致の度合いを見るために一致性の検定を行った。その結果、有意水準 5% で判断の基準が一致しているとみなせた。

距離尺度の算出結果を Fig.3 に示す。まず、刺激 No.1~6 の結果から、 LG_{80}^{∞} が一定であるにも拘わらず、明らかに LEV に有意な差があるのが分かる。刺激 No.1(側方だけ)との尺度値の差は、前方反射音を付加した刺激 No.2(側方+前方)において 0.95 と最も小さく、刺激 No.6(側方+後方)で 2.99 と最も大きい。すなわち、LEV

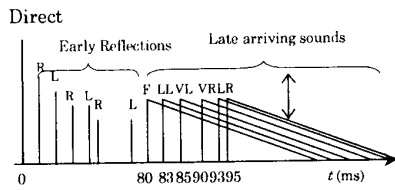


Fig.4 Signal configuration as stimuli.

は LG_{80}^{∞} だけに依存するとは言えない。

また、刺激 No.2~6 は刺激 No.1 に比べて G が約 3dB 大きく、上記の LEV の差には、当然この音圧レベルの増加による効果も含まれているものと考えられる。そこで次に、刺激 No.2~7 の結果を見てみる。 G が一定(刺激 No.2~6 では LG_{80}^{∞} も一定)であるにも拘わらず、後期音の到来方向によって明らかに LEV に有意な差が認められる。すなわち、刺激 No.2 に比べて、刺激 No.4,6 および 7 では各々 0.92, 2.04, 3.20 の差が認められる。このことから、LEV への寄与としては側方からの後期音の寄与が最も大きいものの、上方や後方からの後期音もまた LEV の知覚に影響していると言える。

4. 実験 II

後期音の LEV への寄与が到来方向によってどの程度異なるかについて、側方,上方,前方,後方の 4 つの方向から到来する後期音レベルを独立に変化させた音場を用いてさらに検討した。

Table 2 Acoustical conditions in Exp. II

No.	G_0^{∞} (dB)	LG_{80}^{∞} (dB)	FG_{80}^{∞} (dB)	RG_{80}^{∞} (dB)	VG_{80}^{∞} (dB)
0	5.0	-3.5	-6.3	-6.3	-3.6
1	5.7	-0.7	-6.7	-6.7	-3.7
2	6.8	3.2	-6.3	-6.3	-3.4
3	8.1	5.1	-5.9	-5.9	-3.3
4	5.5	-3.5	-1.0	-6.3	-3.5
5	6.3	-3.2	1.3	-6.3	-3.3
6	7.8	-3.5	3.7	-6.3	-2.8
7	5.2	-3.5	-6.7	-6.7	-1.5
8	6.5	-3.4	-6.0	-6.0	1.1
9	7.7	-3.2	-6.3	-6.3	3.8
10	5.4	-3.8	-6.3	-0.1	-3.6
11	6.7	-3.1	-6.3	2.1	-3.3
12	7.5	-3.4	-6.3	4.4	-3.2

* BL(dBA): Calculated from binaural SPL measured by using dummy head microphone.

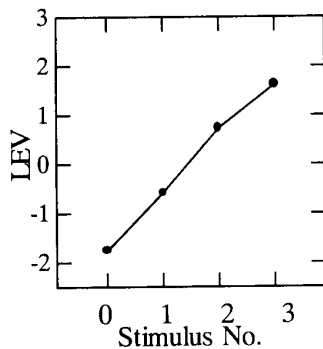


Fig.5 Psychological scale of LEV in experiment II-1

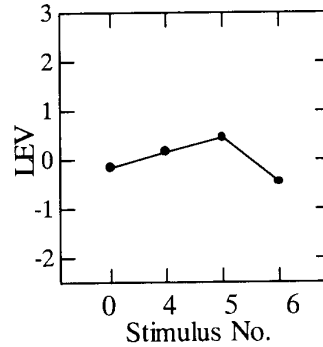


Fig.6 Psychological scale of LEV in experiment II-2

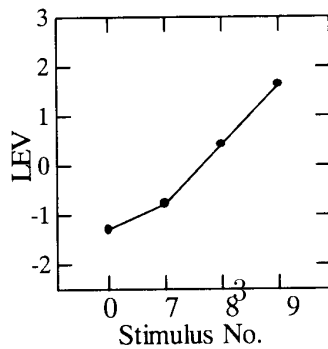


Fig.7 Psychological scale of LEV in experiment II-3

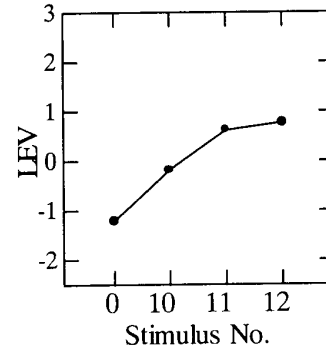


Fig.8 Psychological scale of LEV in experiment II-4

4.1 実験条件

刺激音場の構成を Fig.4 に示す。刺激は、実験 I と同様に直接音、6 本の初期反射音(0-80ms, $LE=0.16$)並びに後期音(80- ∞ ms)から成り、直接音と初期音は全刺激で一定である。

後期音の到来方向別に 4 種類の実験を実施した。すなわち、側方,前方,上方,後方からの後期音をすべて付加した音場(刺激 No.0)を基準として、側方エネルギーだけを変化させた場合(実験 II-1)、前方エネルギーだけを変化させた場合(実験 II-2)、上方エネルギーだけを変化させた場合(実験 II-3)、並びに後方エネルギーだけを変化させた場合(実験 II-4)の 4 種類である。刺激の数は、各実験とも刺激 No.0 に対して各方向の後期音レベルを 3 段階で変化させ 4 個ずつとした。計 13 個の刺激を Table 2 にまとめて示す。刺激の呈示レベルは全実験を通して 61.2~63.7dBA の範囲である。残響時間は 1.8s で一定である。

以上のようにして得られた各実験 4 個ずつの音場について、すべての組み合わせ 6 対を刺激対として呈示した。被験者は 8 名であり、各人に同一刺激対を 8 回ずつ判断してもらった。

4.2 結果と考察

得られた回答から Thurstone Case V に基づき心理的距離尺度を構成した。モデルの適合度の検定を行った結果、有意水準 1% で事実と適合していた。一意性($8 \times 8=64$ 名分)と一致性の検定を行った結果は、実験 I と同様である。

距離尺度の算出結果を Fig.5~Fig.8 に示す。すべての実験に共通する刺激 No.0 と各刺激間の尺度値の差を算出すると、側方の場合に 3.38、前方の場合 0.61、上方の場合 2.92、後方の場合 1.98(いずれも最大値)となる。すなわち、前方の場合を除き、その他の方向については明らかに後期音のレベル変化が LEV に有意な差を与えていることが分かる(距離尺度の変化幅 0.68 以上が弁別できる差に相当)。そして、LEV への寄与の程度は、側方の場合が最も大きく、このことは従来の知見と一致する。さらに、上方或いは後方からの後期音エネルギーについても、側方エネルギーに比べると寄与の程度は若干下がるものの LEV の知覚に強く影響している。

5. まとめ

LG_{80}° を一定とした実験から、側方成分を有していない後期音によっても LEV に有意な差が生じること、さらに、方向別に後期音レベルを変

化させた実験から、側方からの反射音の寄与が最も大きいものの、上方並びに後方から到来する反射音もまた LEV に大きく寄与すること、また前方からの反射音は殆ど寄与しないことが明らかになった。これらの結果は、従来の側方反射音レベルだけでは LEV を説明できないことを意味しており、十分な LEV を得るためには側方以外の方向から到来する後期音についても配慮する必要があることを示唆している。

謝辞

実験を手伝ってくれた和久田晃子(九州大学)、神原誠(九州共立大学)、渡邊賢治(同)君、並びに実験被験者になってくれた藤本研究室の学生諸君に感謝します。

参考文献

- 1) A.H.Marshall, "A note on the importance of room cross-section in concert halls," J. Sound Vib. 5(1), 100-112 (1967)
- 2) V.L.Jordan, *Acoustical Design of Concert Halls and Theatres*, Applied Science Publishers Ltd., London, p.159 (1980)
- 3) M.Barron and A.H.Marshall, "Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls : The derivation of a physical measure," J. Sound and Vib. 77(2), 211-232(1981)
- 4) 森本政之,藤森久嘉,前川純一, "見かけの音源の幅と音に包まれた感じの差異," 日本音響学会誌 46, 449-457(1990)
- 5) J.S.Bradley and G.A.Soulodre, "Objective measures of listener envelopment," J.Acoust. Soc.Am.98(5), 2590-2597(1995)
- 6) H.Furuya, K.Fujimoto, Y.Takeshima and H. Nakamura, "Effect of early reflections from upside on auditory envelopment," Acoust. Soc. Jpn.(E) 16(2), 97-104(1995)
- 7) M.Morimoto and K.Iida, "A new physical measure for psychological evaluation of a sound field: Front/back energy ratio as a measure for envelopment," J.Acoust. Soc. Am. 93, 2282(1993)
- 8) 羽入敏樹,木村翔,千葉俊, "反射音の空間バランスに着目した音に包まれた感じの定量化方法," 日本建築学会計画系論文集 520, 9-16(1999)